

最先端 DA コンバータを実測

●TI PCM 1792 による 192 kHz, 24 ビットデータの再生

河合 一

本誌 2004 年 6 月号で $f_s=192$ kHz の AD/DA 総合特性についてご紹介しましたが、本稿では D/A 変換部のみに着目して、測定法を含めて、その性能をご紹介します。

D/A コンバータは TI (BB) 社 PCM 1792 を使用します。本デバイスの動作原理などの詳細は 2003 年 5, 6 月号を参照してください。このデバイスは Advanced Segment 方式による最高性能ステレオ DAC で、PCM/DSD どちらにも対応しています。PCM では最大 $f_s=192$ kHz, 24 ビットの D/A 変換が可能です。

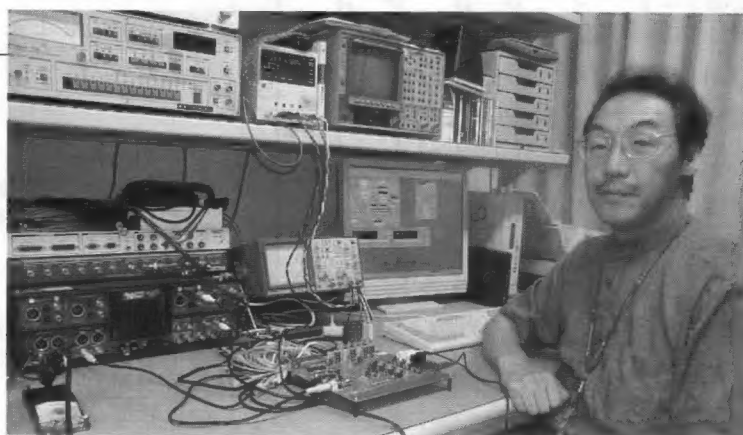
THD+N: 0.0004% (TYP)

D レンジ: 127 dB (TYP)

を実現しています。このことから各オーディオ・メーカーの中・高級モデルにも多く採用されています。

$f_s=192$ kHz 動作のテスト

●実験室での筆者



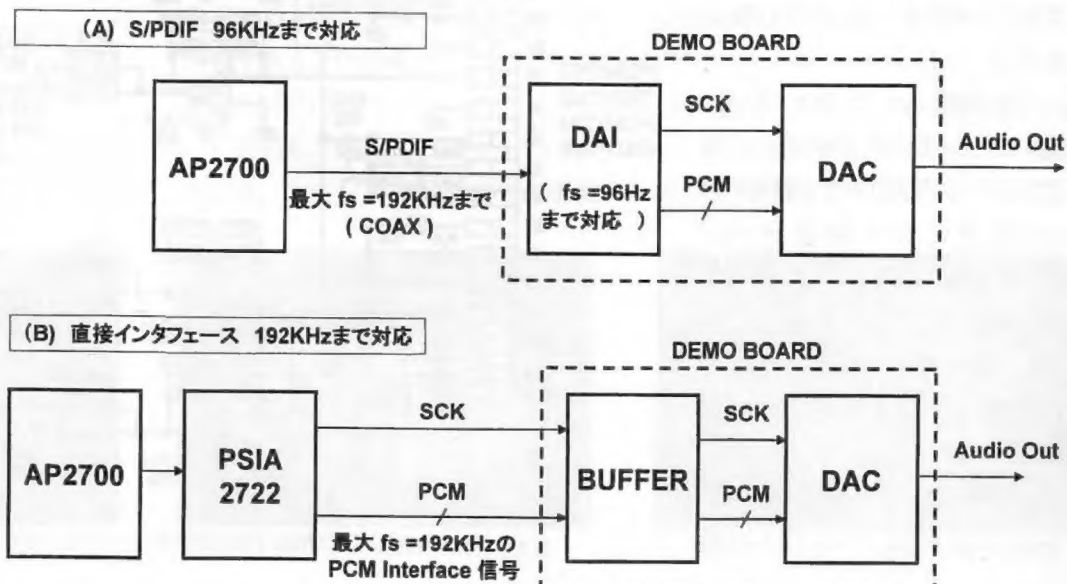
オーディオ・デバイスのテストには Audio Precision 社 System-Two が一般的に用いられています。従来品は $f_s=192$ kHz のデジタル信号出力には対応していませんでした。このため、TI 社では市販の IC テスターと自社開発の信号源/テスト装置を組み合わせ、 $f_s=192$ kHz 動作でのテストを行っていました。

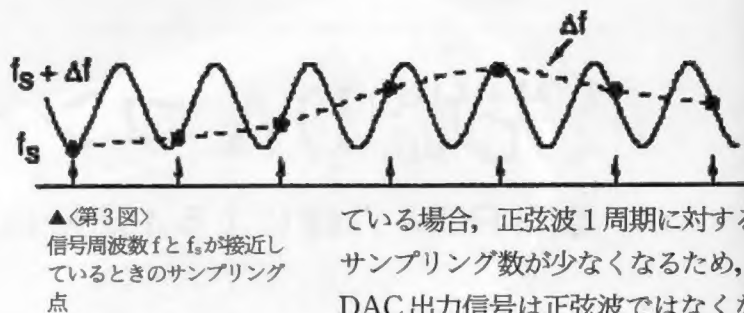
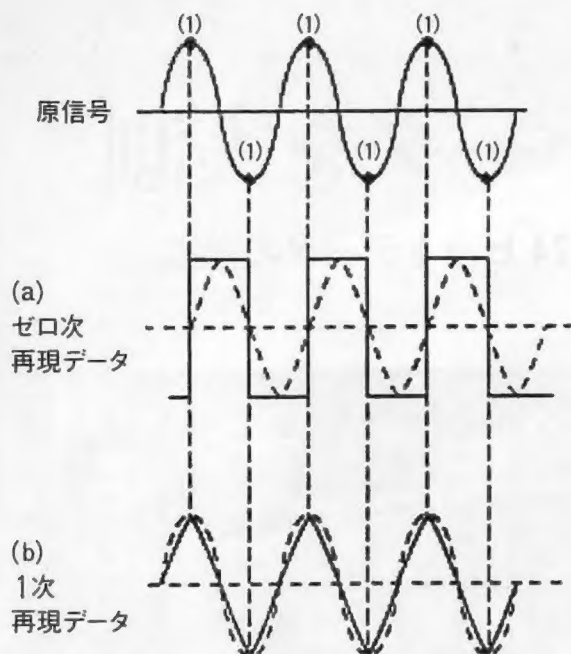
こうした中、昨年 AP 社から AP 2700 シリーズという $f_s=192$ kHz に対応したモデルが市場に現れ、TI 社でもこれを $f_s=192$ kHz

動作でのテスト・システムのひとつとして利用しています。ただし、評価ボードに実装してある DAI レシーバは最大 $f_s=96$ kHz までしか対応していないため、S/PDIF インタフェースでは $f_s=96$ kHz までしかテストできません。

AP 2700 では、PSIA 2722 という外部アダプタを組み合わせることにより PCM 信号 (LRCK, BCK, DATA) とシステム・クロックを出力できるので、この信号を直接 DAC デバイスに接続することにより $f_s=192$ kHz のテストが可能に

〈第1図〉
サンプリング周波数
 f_s が 192 kHz 動作
でのテスト法





◀〈第2図〉
サンプリング周波数
と正弦波の再現の関係

なります。これらの概念を第1図に示します。

以下本稿でのテストは、特に記述のない限り第1図(B)のテスト・システム構成で行います。

$f_s = 192 \text{ kHz}$, 24 ビット・データでの理論値

周知のとおり、デジタル・オーディオでは標準化周波数(サンプリング周波数)と量子化ステップ数(分解能/ビット)の2大要素により性能限界が決定されます。 $f_s = 192 \text{ kHz}$, 24 ビット分解能条件では、

最大信号周波数 $f_{\max} = 96 \text{ kHz}$

Dレンジ: 約 146 dB

となります。ここで、ちょっとこれらの要素のおさらいをします。

この要素のうち Dレンジに関しては、DAC デバイス自身のアナログ性能(おもに雑音レベル) 限界により制限され、PCM 1792 では $2 V_{\text{rms}}$ 出力で 127 dB, $4.5 V_{\text{rms}}$ 出力で 129 dB, モノ動作 $9 V_{\text{rms}}$ 出力で 132 dB とそれぞれ規定しています。

いずれも、120 dB 以上の Dレンジは DAC デバイスの性

能限界と周辺アナログ回路における性能限界にも近いため、PC レイアウト、部品品種、定数など細心の検討が必要です。こうすることにより、実アプリケーションでの Dレンジ特性は、ほぼ DAC デバイスの性能で決定されます。

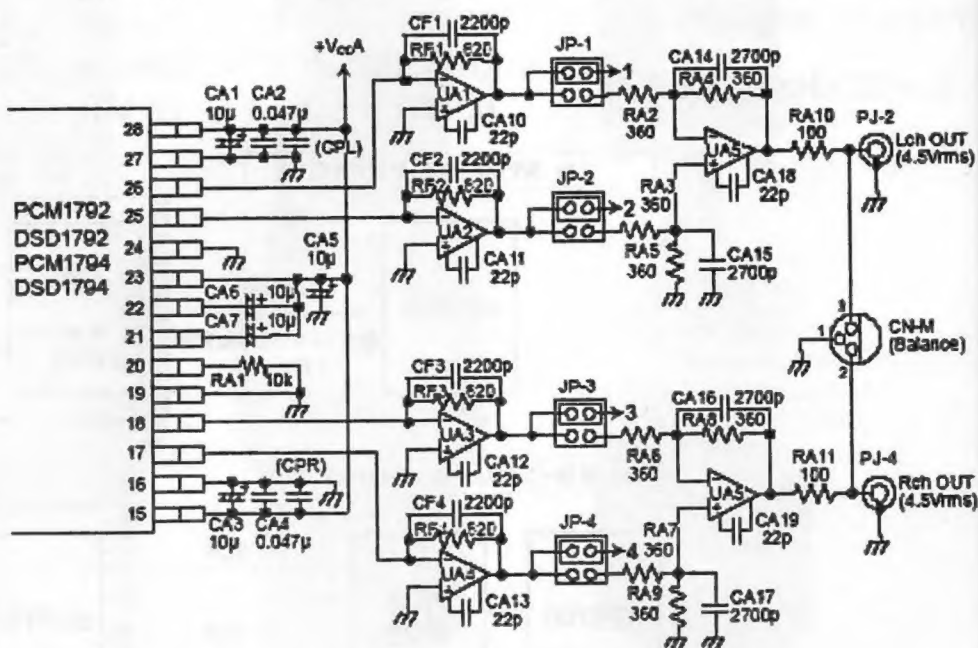
一方、最大信号周波数は“信号周波数”としては DAC デバイスの性能に左右されるものではありません。しかし、正弦波の再現という観点では一考の余地があります。これはサンプリング周波数 f_s において、 $f_s/2$ に対して信号周波数 f が近接し

ている場合、正弦波 1 周期に対するサンプリング数が少なくなるため、DAC 出力信号は正弦波ではなくなってしまうからです。この概念を第2図に示します。

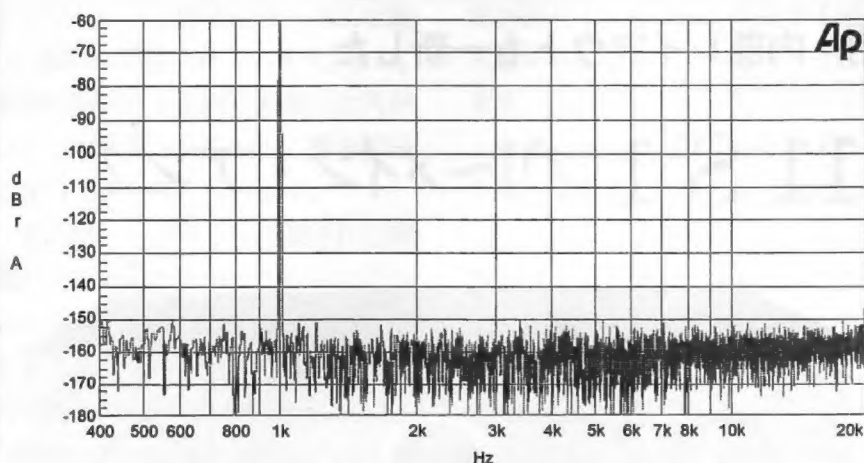
第2図では、 $f_s = 2f$ での DAC 出力を示しています。直接出力(Zero オーダー)では、出力信号波形はほぼ方形波です。1 次の LPF 通過(First オーダー)で方形波は成形され正弦波に近くなりますが、ひずみ率で表せば何 10% といったオーダーです。

実際のアプリケーション、たとえば CD では、 $f_s = 44.1 \text{ kHz}$ に対するナイキスト周波数 22.05 kHz に対して、 20 kHz の信号は $\Delta f = 22.05 \text{ kHz} - 20 \text{ kHz}$ の差分があり、整数倍の関係ではないのでサンプリング・ポイントが周期ごとに変化していきます。

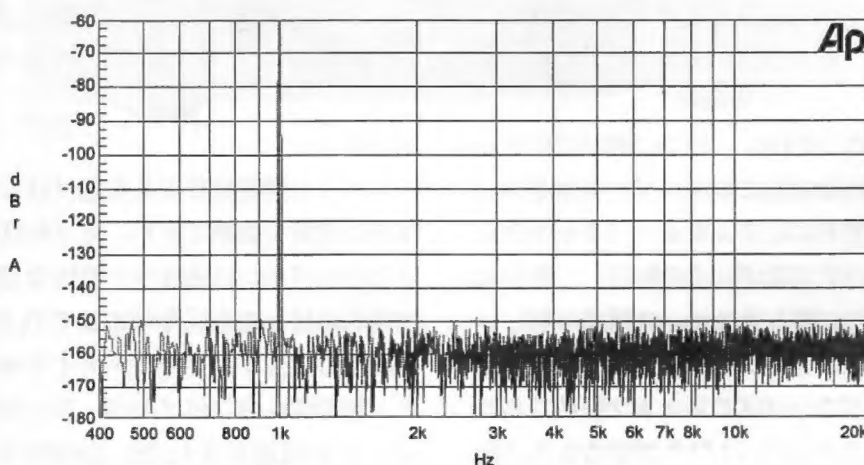
この様子を第3図に示します。第3図における破線 Δf はサンプリング・ポイントでのビートを示しています。ここでのビートはエアアシ



〈第4図〉 DEM-PC 1792 評価ボードのアナログ出力回路



〈第9図A〉 $f_s=48\text{ kHz}$ での -60 dB 出力のFFT解析



〈第9図B〉 $f_s=192\text{ kHz}$ での -60 dB 出力のFFT解析

号(16ビット~24ビット)で、16ビットと24ビットのちがいによるDレンジの拡大、低THD+N特性化が特長になります。当然、使用DACデバイスの性能で決定される要素となります。

FFT測定

第9図に -60 dB 、 1 kHz 信号再生のFFT測定の実測データを示します。第9図(A)は $f_s=48\text{ kHz}$ 、第9図(B)は $f_s=192\text{ kHz}$ でのものです。どちらのFFTでも、 -60 dB 出力では高調波としてのTHDはほとんど見られず、 $f_s=192\text{ kHz}$ の方が若干ノイズ・フロアのレベルが高いのがわかります。これは前述のTHD測定での f_s が高い場合のDAC動作での解説のとおり、おもにスイッチング・ノイズが帯域内で

若干増加することによります。

この場合も $f_s=192\text{ kHz}$ だからといって大きなノイズ上昇があるものではなく、聴感でのひずみ感(THD)にはFFTデータ上の影響はないと思われます。

まとめ

今回は、24ビット、 $f_s=192\text{ kHz}$ 再生での特長を把握する意味で、理論上どのような性能限界があり、実際の信号再生にどのように関係しているか、各種データの実測で検証してきました。

筆者自身が改めて再認識した点も踏まえて、以下に24ビット、 $f_s=192\text{ kHz}$ 動作での特長をまとめます。

結論からいいますと、量子化分解能の24ビット化によるTHD+N、Dレンジの高性能化はもちろん大き

な特長です。そして、スペック数値で表される要素に加えて、周波数軸での応答性の優位点も大きな特長であり、聴感上これらの要素が与えている影響は大きいと思われます。項目別にまとめますと、以下ようになります。

(1) THD+Nとオーディオ特性

これらの特性は16ビットから24ビット量子化になったことによるアナログ振幅軸での優位性が大きく、動作 f_s による差異はほとんどない。ノイズ、THDともほとんどDACデバイスの性能で決定。

(2) 周波数レスポンス

周波数レスポンスはナイキスト周波数付近までほぼフラット。したがって、 $f_s=192\text{ kHz}$ では最大 96 kHz まで周波数特性を伸ばすことが可能。実機においては、CDとDAとのマルチプレイの場合、ポストLPFのカットオフ周波数をどう設定するかของการ考察が必要。

(3) 正弦波再現性

ナイキスト周波数に近接する信号周波数での信号再現性では、 $f_s=192\text{ kHz}$ にすることにより非常に優位となる。

(4) 方形波応答

方形波応答での通過周波数上限、FIRフィルタ応答でも $f_s=192\text{ kHz}$ は優位である。

こうして見ると、24ビット量子化、 $f_s=192\text{ kHz}$ 動作での多くの優位性を再確認することができます。特に、周波数軸に関する特性は単純な周波数レスポンス(帯域)以上に多くの優位性があり、音楽再生における“音質”とも密接に関係していると思われます。

(日本テキサス・インスツルメンツ/日本DCESカンパニー)